بررسی کارایی فرایند شبه فنتون در حذف ۴-کلروفنل از محیطهای آبی

نویسندگان:امیر شیخ محمدی[۱] محمدمنشوری[۲] احمدرضایزدانبخش[۳] مهدیه سردار[۴]

۱.مربی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی لرستان

۲. استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۳.دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

۴.نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط ،گروه بهداشت محیط ،دانشگاه علوم پزشکی لرستان

Email: mahdiehsardar@yahoo.com تلفن: ۰۶۶۱۴۲۰۹۹۷۱

طلوع بهداشت

فصلنامهٔ علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد

سال دوازدهم

شماره: اول

بهار ۱۳۹۲

شماره مسلسل: ۳۸

تاریخ وصول: ۱۳۹۰/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۲۷

چکیده

مقدمه: ۴-کلروفنل یکی از انواع کلروفنل‌هایی است که در پساب صنایعی اعم از پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، صنایع تولید حشره‌کش و.....یافت شده و سبب آسیب به محیط زیست می شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی فرایندFe°/H_2O_2 در تجزیه ۴-کلروفنل از محلولهای آبی و بررسی ترکیبات واسطه تولیدی حاصل از واکنش بوده است.

روش بررسی: این مطالعه یک پژوهش کاربردی است که به صورت تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در طول آزمایش مقادیر بهینه پارامترهای مختلف از قبیل pH، پراکسید هیدروژن، پودرآهن، زمان بهینه وسرعت اختلاط در حذف۴-کلروفنل بررسی شد. به منظور بررسی ترکیبات واسطه تولیدی، آزمایشات کلر باقیمانده، UV_{215} و COD نیز انجام گرفت.

یافته ها: در این تحقیقpH بهینه ۴ تعیین شد و همچنین نسبت های مولی بهینه پراکسید هیدروژن بر ۴-کلروفنل برابر با ۱۸/۸، پراکسید هیدروژن بر پودرآهن برابر با ۰/۴، زمان بهینه ۵ دقیقه و سرعت اختلاط ۱۸۰rpm بدست آمد. در نهایت بمنظور بررسی میزان معدنی شدن ۴-کلروفنل از شاخص COD استفاده شد که نشان داد، ترکیب۴-کلروفنل به طور کامل معدنی نشده است. در عین حال افزایش میزان غلظت یون کلرور وسنجش UV_{215} پس از زمان بهینه ۵ دقیقه نشان داد خاصیت کلرینه و حلقه بنزنی ترکیب اولیه کاهش یافته، که این امر نشان دهنده بهبود تجزیه پذیری ۴-کلروفنل بوده است.

نتیجه گیری: با توجه به کلیه نتایج بدست آمده و در نظر گرفتن مقاومت بالای ترکیب ۴-کلروفنل در برابر تجزیه توسط فرایندهای بیولوژیکی، می توان از فرایند Fe°/H_2O_2 برای تبدیل نمودن این ترکیب به سایر ترکیباتی آلی که قابلیت تجزیه پذیری بیولوژیکی بالاتر و سمیت کمتری داشته باشند استفاده نمود.

واژه های کلیدی: فرایند اکسیداسیون پیشرفته، شبه فنتون، ۴-کلروفنل، COD، تجزیه شیمیایی

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

مقدمه

آلاینده های آروماتیک خصوصا ترکیبات فنلیک، گروه بزرگی از آلاینده های آلی می باشند. از دسته این ترکیبات فنلیک می توان به کلروفنل ها اشاره نمود که گروه بزرگی از مواد شیمیایی اند که با اضافه شدن ۱ تا ۵ عدد یون کلر به یک حلقه فنلی شکل می گیرند(۱). کلروفنل ها در صنایع مختلف تولید می شوند. کلروفنل هایی با ۲ و یا تعداد کمتر اتم کلر، در تهیه آفت کش ها، پاراکلروفنل در تهیه مواد ضدعفونی کننده و پنتاکلروفنل درساخت ترکیبات محافظ چوب به کار می روند. تعدادی از کلروفنل ها نیز در حین گندزدایی آب با کلر تولید میشوند.(۲،۱) کلروفنل ها سبب ایجاد مشکلات فراوان می شوند اعم از ایجاد بوی بد و مزه نامطلوب در آب های آشامیدنی، مرگ آبزیان و همچنین ایجاد اختلال در فعالیت های معمول میکروارگانیسم های دخیل در تصفیه خانه های فاضلاب، به همین دلیل سازمان جهانی بهداشت غلظت ۰/۰۰۱میلی گرم بر لیتر را به عنوان حداکثر غلظت مجاز ترکیبات فنلی در آب های آشامیدنی در نظر گرفته است (۳،۴).۴-کلروفنل با فرمول شیمیائی C_6H_5ClO یکی از انواع کلروفنل هایی است که در آن کلر جایگزین هیدروژن شماره۴ در حلقه بنزنی فنل شده است. ۴- کلروفنل (پارا کلرو فنل)در مقیاس وسیع در پالایشگاه ها و صنایع پتروشیمی، داروسازی، صنایع تولید حشره کش و علف کش ، صنایع تولید کننده عوامل ضدمیکروبی محیط، صنایع تولید کننده رنگ کابرد دارد(۵). با توجه به سمیت بالای ترکیبات کلروفنل، باید از روش های مناسب جهت حذف آنها قبل از تخلیه به محیط استفاده نمود. سوزاندن، رهاسازی در هوا، جذب سطحی، اسمز معکوس، اکسیداسیون الکتروشیمیایی، اکسیداسیون بیولوژیکی و اکسیداسیون شیمیایی پیشرفته، مهم ترین روشهای تصفیه ترکیبات آلی از جمله کلروفنل ها می باشند(۹-۶). در سال های اخیر استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته(AOPs)کاربرد فراوانی درحذف ترکیبات آلی مقاوم از جمله کلروفنل ها داشته است. تحقیقات متعدد انجام شده حاکی از آن است که فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته با تولید رادیکال هیدروکسیل، به عنوان یک اکسید کننده قوی، در تجزیه کامل کلروفنل‌ها دارای راندمان بالایی می‌باشند (۱۰). اساس این فرآیند ها برپایهٔ تشکیل رادیکال های هیدروکسیل فعال می باشد که با ترکیبات آلی واکنش داده و موجب تخریب آنها می‌شود. یکی از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته، فرآیند فنتون است. در فرایند فنتون یک یون فلزی شرکت دارد و این یون فلزی می‌تواند انتقال یک الکترون را بپذیرد (۱۰). فرآیند فنتون به تنهایی قادر است در حدود۶۰-۴۰٪ مواد آلی را به مواد معدنی تبدیل کند (۱۱،۱۲). روش فنتون به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شود که شامل فوتوفنتون، الکتروفنتون، فنتون تاریک، شبه فنتون و غیره می‌باشد که تنها شرایط عمل در آنها متفاوت است ولی اساس واکنش آنها یکسان میباشد (۱۳). در این تحقیق از فرایند شبه فنتون (Fe°/H_2O_2) در حذف ۴-کلروفنل استفاده شده است. شبه فنتون (Fe°/H_2O_2) یک سیستم الکتروشیمیایی است که در آن یون های Fe° (پودر آهن) به عنوان احیاء کننده و مولکولهای H_2O_2 به عنوان اکسنده مطرح می باشند (۱۴). اکسیداسیون Fe° شامل دو روش متفاوت می باشد : در روش اول که روش ۲ الکترونی است ، یون های Fe^{0} در یک مرحله به یون های Fe^{+2} تبدیل شده و با تولید O^{-2} زمینه را برای تولید

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

پراکسید هیدروژن و متعاقبا تبدیل Fe^{+2} به Fe^{+3} و تشکیل رادیکال های هیدروکسیل فراهم میکنند، در معادلات ۱تا۳ چگونگی انجام این فرایند مشاهده می شود (۱۵).

$$Fe^{0} + O_2 \longrightarrow Fe^{+2} + O_2^{-2}$$

$$O_2^{-2} + 2H^{+} \longrightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + OH^{\circ} + OH^{-}$$

اما در روش دوم،که روش ۴ الکترونی است، Fe°درمرحله اول به Fe^{+2} تبدیل شده و با تشکیل O^{-2} زمینه برای تولیدH_2O_2 فراهم میشود، سپسH_2O_2 تولیدی مجددا یون های Fe° باقی مانده را اکسید می کند. بنابراین در روش دوم یون های Fe° در دو مرحله اکسید میشوند لذا Fe^{+2}و Fe^{+3} تولیدی بیشتر و متعاقبا H_2O_2 و رادیکال هیدروکسیل بیشتری تولید می شود. رادیکال هیدروکسیل تولیدی نیز می تواند با ترکیب آلاینده وارد واکنش شود. در معادلات ۴ تا۷ چگونگی انجام این واکنش ها نشان داده شده است.

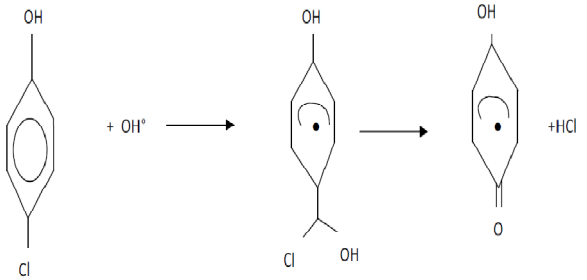
$$Fe^{0} + O_2 \longrightarrow Fe^{+2} + O_2^{-2}$$

$$O_2^{-2} + 2H^{+} \longrightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + Fe^{0} \longrightarrow Fe^{+2} + 2H_2O$$

$$H_2O_2 + Fe^{+2} \longrightarrow Fe^{+3} + OH^{\circ} + OH^{-}$$

ساختار ۴-کلروفنل و تاثیر رادیکال هیدروکسیل بر ساختار این ماده آلی را می توان به صورت زیر نشان داد.



تاکنون از فرایندهای مختلفی برای حذف ۴-کلروفنل استفاده شده است. تائو و همکاران در سال ۲۰۰۸ از سیستم شبه فنتون با بکارگیری آهن صفر ظرفیتی و H_2O_2 برای حذف پاراکلروفنل استفاده نمودند.آنها به این نتیجه رسیدند که pH اولیه نقش بسیار حائز اهمیتی در تجزیه ۴-کلروفنل دارد، بطوریکه با کاهش pH به حدود ۴ بیشترین راندمان حذف حاصل شده است(۱۶). ون و همکاران در سال ۲۰۰۹ تجزیه ۴-کلروفنل موجود در آب های آلوده را باکمک دو فرایند فنتون و فوتوفنتون انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که تجزیه ۴-کلروفنل در سیستم فوتوفنتون با گذشت زمان ۳۰ دقیقه و نسبت بهینه$[H_2O_2]$ /$[Fe^{2+}]$ برابر با ۴۰، به حدود ۹۰٪ رسیده است. در صورتیکه در سیستم فنتون حداکثر راندمان حذف در حدود ۶۵٪ بوده است(۱۷).

روش بررسی

این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام شد. متغیرهای مورد بررسی در این مطالعه شامل pH ، پراکسید هیدروژن، پودر آهن، زمان واکنش و سرعت اختلاط می‌باشند. آزمایشها در پنج مرحله مجزا شامل، تعیین مقادیر بهینه pH، پراکسید هیدروژن، پودر آهن، زمان و سرعت اختلاط انجام گرفت. جهت تعیین مقادیر بهینه، ازمحلول سنتتیک ۴-کلروفنل با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد. در هر مرحله با ثابت نگه داشتن تمامی متغیرها و تغییر دادن یک متغیر مقدار بهینه هر یک از متغیرها تعیین شد. بنابراین در ابتدا با توجه به نقش بسیار حائز اهمیت pH در فرایند، pH بهینه تعیین شد. با توجه به اینکه در اکثر مطالعات انجام شده بهترین pH برای به-کارگیری فرایند فنتون محدوده۵-۲ ذکر شده است لذا به منظور

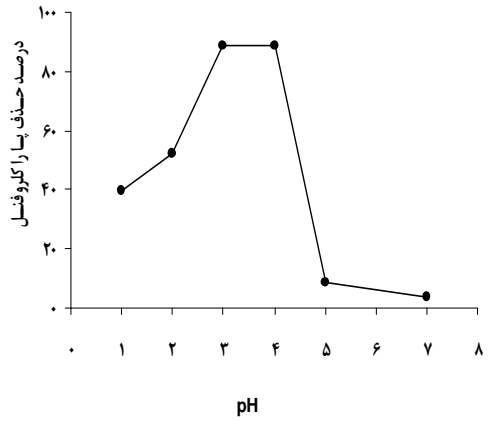
[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

بررسی دقیق‌تر از محدوده برای تعیین pH استفاده شد(۱،۲،۳،۴،۵،۷). پس از آن با لحاظ کردن pH بهینه در مرحله بعدی وتغییرغلظت پراکسید هیدوژن(۱/۱،۵/۶ ،۱/۴ ،۱،۰،۱/۲ میلی مول بر لیتر) ، میزان H_2O_2 بهینه تعیین شد، سپس با مد نظر قرار دادن H_2O_2 و pH بهینه بدست آمده از مرحله قبل، وتغییر غلظت پودر آهن (۷/۱، ۳/۵،۵ ،۰/۱،۹/۷ میلی مول بر لیتر)میزان پودر آهن بهینه بدست آمد.سپس با متغیر قرار دادن زمان(۱،۳،۵، ۷،۱۰ دقیقه) و اعمال شرایط بهینه بدست آمده از مراحل قبل، زمان بهینه تعیین شد. در انتها با اعمال کلیه پارامتر های بهینه،سرعت اختلاط بهینه تعیین شد.

تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از شرکت مرک آلمان خریداری شد. برای تنظیم pH ،از هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک یک نرمال استفاده شدو برای اندازه گیریpH، از pH متر مدل(50-pp-sartorious) استفاده شد. برای اختلاط محلول حاصل از دستگاه جارتست استفاده شد. برای انجام آزمایشات و تعیین غلطت کلروفنل باقیمانده در پایان آزمایش از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV/VIS (۲۰۲۱- CE)در طول موج ۵۰۰ نانومتراستفاده شد. در کلیه مراحل، مطابق با روشD-۵۵۳۰ قید شده در استاندارد متد، پس از اتمام اختلاط توسط همزن، در فواصل زمانی مشخص، مقدار ۱۰۰ میلی لیتر نمونه از ظرف واکنش برداشته شد و پس از اضافه نمودن معرف‌های لازم به آن و گذشت زمان ۱۵ دقیقه، جذب نمونه در طول موج ۵۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. در نهایت به منظور بررسی ترکیبات واسطه تولیدی و میزان معدنی شدن ترکیب در خلال فرایند، آزمایش سنجش UV_{215}، کلرور و CODانجام گرفت(۱۴).

یافته ها

از آنجایی کهpH محلول تاثیر مستقیمی بر تولید رادیکال های هیدروکسیل دارد و از این طریق می تواند بر راندمان فرایند اکسیداسیون موثر باشد، اولین پارامتر مورد بررسی فرایند،pH میباشد. همانطور که شکل ۱ نشان می دهد بیشترین راندمان حذف بطور مشابه درpH برابر با ۳ و ۴ و کمترین راندمان حذف مربوط به pHهای ۵و۷ می باشد. لذا با توجه به راندمان۹۲٪ که به طور مشابه در pH های ۳ و۴ بدست آمده است و در عین حال با توجه به اهمیت pH نهایی فرایند (بمنظور توجیه اقتصادی و همچنین مشکلات کمتر پساب به منظور خنثی سازی) pH مساوی با ۴ به عنوان pH بهینه انتخاب شد.

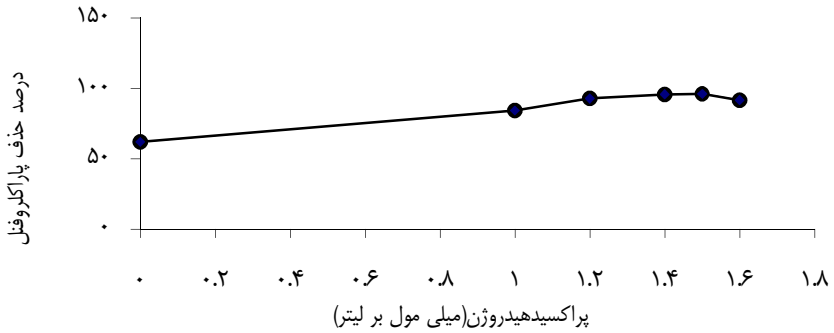


شکل ۱-تاثیر pH بر راندمان حذف ۴- کلروفنل

(H_2O_2=۲ mMol/l , Fe° = ۲mMol/l ، زمان=۵دقیقه، غلظت ۴- کلرو فنل =۱۰ میلی گرم بر لیتر)

همانطور که شکل ۲ نشان می دهد، با افزایش میزان H_2O_2 تا مقدار مشخص ۱/۴میلی مول برلیتر راندمان حذف افزایش یافته و به ۹۵/۷٪ می رسد اما با افزایش مقدار پراکسید هیدروژن از ۱/۴ به ۱/۶ میلی مول بر لیتر تأثیر چشمگیری در کارایی فرایند دیده نمی شود.

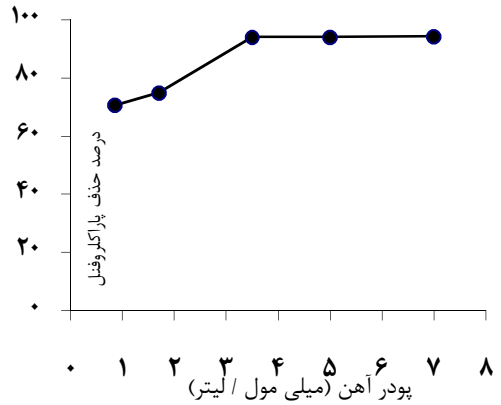
[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]



شکل ۲- تاثیر افزایش غلظت H_2O_2بر حذف ۴-کلروفنل

(pH=۴ , Fe°=۲mMol/l , زمان تماس=۵دقیقه, غلظت۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر)

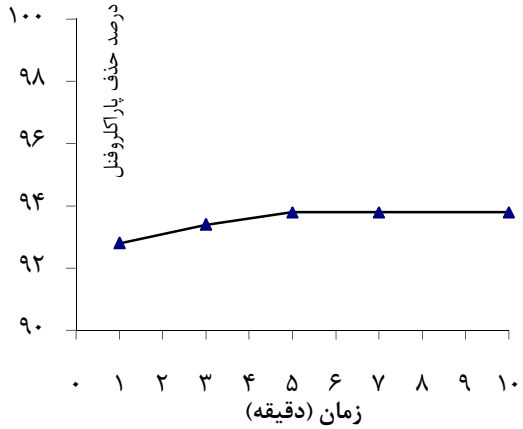
از آنجایی که واکنش اصلی که منجر به تولید رادیکال هیدروکسیل می شود بین پراکسید هیدروژن و یون آهن صفر اتفاق می افتد، لذا تعیین مقدار بهینه یون آهن نقش به سزایی در فرایند شبه فنتون دارا است. همانطور که شکل۳ نشان می دهد، افزایش میزان پودر آهن تا ۳/۵ میلی مول بر لیتر سبب افزایش کارایی فرایند می شود و راندمان حذف را به ۹۳/۸۹٪ می رساند ولی با افزایش پودرآهن از این مقدار به بعد افزایشی در راندمان حذف دیده نمی شود.



شکل۳-تاثیر افزایش غلظت پودر آهن بر حذف ۴-کلروفنل

(pH=۴, H_2O_2 = ۱/۴mM/l , زمان=۵دقیقه ،غلظت ۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر)

همانطور که شکل۴ نشان می دهد با افزایش زمان واکنش از ۱ تا ۵ دقیقه ، راندمان حذف ۴-کلروفنل از ۹۲/۲٪ به ۹۳/۸٪ افزایش می یابد و با افزایش زمان به بیش از ۵ دقیقه تغییری در راندمان حذف مشاهده نمی شود.



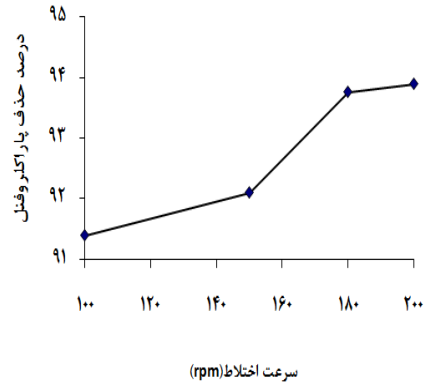
شکل۴- تاثیر زمان در حذف ۴-کلروفنل

(pH=۴, H_2O_2 = ۱/۴mM/l , Fe°=۳/۵mM/l , غلظت ۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر)

سرعت اختلاط دستگاه پارامتر تاثیر گذار دیگری است که باید در حین این تحقیق مد نظر قرار گیرد. از آنجایی که سرعت اختلاط رابطه نزدیکی با مقدار انرژی مصرفی دارد و انرژی مصـــرفی نیز یک فاکتور اقتصـــادی بسیار تاثیر گذار در تعـــیین

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

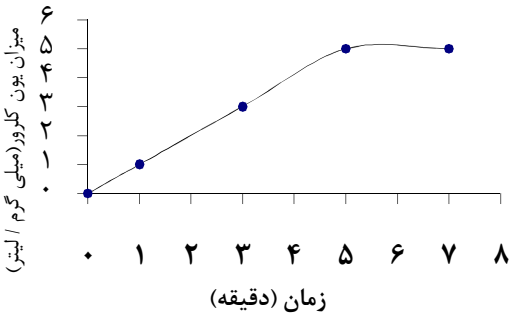
مقدار هزینه های یک آزمایش می باشد، لذا ضروری است نسبت به تعیین مقدار دقیق سرعت اختلاط بهینه اقدام شود. بدیهی است تعیین سرعت بهینه علاوه بر تامین حداکثر کارایی، از صرف انرژی بالا تر و استهلاک بیشتر قطعات ممانعت می کند. همانطور که شکل ۵ نشان می دهدافزایش سرعت اختلاط تا حد rpm۱۸۰ سبب افزایش کارایی حذف تا حدود۹۳/۷۶٪ می شود و از آن به بعد با بالا رفتن سرعت اختلاط افزایشی در میزان کارایی حذف دیده نمی شود.



شکل۵- تاثیر سرعت اختلاط در حذف ۴-کلروفنل

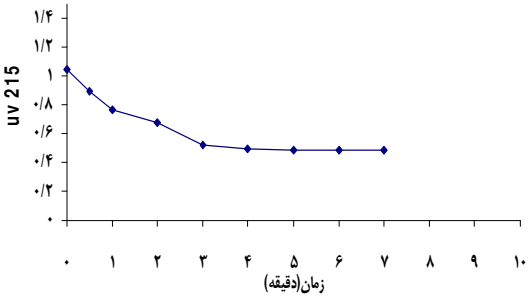
(H_2O_2 = ۱/۴mM/l, pH=۴, Fe° =۳/۵mM/l, زمان=۵دقیقه, غلظت ۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر)

جهت بررسی میزان معدنی شدن ۴-کلروفنل آزمایش COD انجام گرفت، نتایج آزمایش نشان داد که با وجود حذف بیش از ۹۳٪ از ۴-کلروفنل، میزان حذف COD در حدود ۶۶٪ بوده است و این امر بیانگر آن است که ترکیب۴-کلروفنل در خلال فرایند به طورکامل به ماده معدنی(آب و دی اکسید کربن)تبدیل نمی شود. به منظور بررسی ترکیبات واسطه تولیدی در خلال فرایند، سنجش میزان یون کلرور و میزان UV_{215} انجام شد که نمودارهای آنها در اشکال۶و ۷ نشان داده شده است.



شکل۶- میزان یون کلرور پس از اکسیداسیون ۴-کلروفنل در زمان های مختلف

(H_2O_2 = ۱/۴mM/l, pH=۴, Fe° =۳/۵mM/l, غلظت ۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر



شکل۷- تغییرات جذب UV_{215} در زمان های واکنش مختلف

(H_2O_2 = ۱/۴mM/l, pH=۴, Fe° =۳/۵mM/l, غلظت ۴-کلروفنل=۱۰میلی گرم بر لیتر)

بحث و نتیجه گیری

pH مهمترین نقش را در فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته دارد. بنابراین در تحقیق حاضر(شکل۱) می‌توان دلیل کارایی کم فرایند در pH برابر با ۱ و ۲ را، به خاطر تجزیه نامناسب H_2O_2 و متعاقباً تولید کم رادیکال های هیدروکسیل و در pH بالا و برابر با ۵ و ۷ نیز، کاهش پتانسیل اکسیداسیون رادیکال های هیدروکسیل با افزایش pH، ذکر نمود (۲).

همانطور که در شکل ۱ دیده می شود، در۳و۴= pH بیشترین کارایی حذف حاصل شده است که این موضوع در مطالعات دیگران نیز به اثبات رسیده است (۱۸). ایکس یو و همکارانش

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

هم در تحقیق خود مبنی بر حذف کلروفنل‌ها توسط فرایند فنتون pH =۳و۴ را به عنوان pH بهینه انتخاب نمودند(۱۹).

در شکل ۲ تأثیر افزایش پراکسید هیدروژن بر راندمان فرایند Fe°/H_2O_2 بررسی شده است. چنان که شکل ۲ نشان می دهد در صورت عدم استفاده از پراکسید هیدروژن راندمان حذف ۴-کلروفنل در حدود۶۰درصد بوده است . علت این امر آن است که همانطور که در معادلات ۱ تا۷ نشان داده شده است در خلال فرایند با افزودن Fe°، مقداری پراکسید هیدروژن تولید میشود که این پراکسیدهیدروژن سبب تولید رادیکال های هیدروکسیل میشود و این رادیکال های تولید شده سبب حذف ۴-کلروفنل تا حدود۶۰٪می شوند لذا برای افزایش راندمان تا بیش از ۶۰٪ لازم است با افزودن دستی پراکسید هیدروژن، میزان رادیکال هیدروکسیل تولیدی را بالا ببریم. با افزایش میزان H_2O_2 تا حد۱/۴ میلی مول برلیتر راندمان حذف افزایش می یابد ولی افزایش مقدار پراکسید هیدروژن از این مقدار به بعد تأثیر چشمگیری در کارایی فرایند ندارد. علت آن است که H_2O_2 در غلظت‌های بیش از حد، به عنوان مصرف کننده رادیکال‌های هیدروکسیل عمل می‌کند و با حذف این رادیکال‌ها از واکنش، کارایی فرایند را کاهش می‌دهد (۲۰). نسبت۱۸/۸=۴-کلروفنل/H_2O_2 به عنوان نسبت مولی بهینه تعیین شد. مورسیا وهمکارانش نیزدرنتایج تحقیق خود مبنی بر استفاده از فرایند فنتون درحذف پاراکلروفنل(۴-کلروفنل) از فاضلاب به نسبت مولی ۲۵=۴-کلرو فنل/H_2O_2 دست یافتند(۲۱).

در شکل۳ دیده می شود که وقتی میزان پودر آهن به ۳/۵ میلی مول بر لیتر می‌رسد، حداکثر کارایی حذف مشاهده می شود، علت این امرآن است که دراین مرحله میزان پودرآهن کافی برای تجزیه نسبتاً کامل ۴-کلروفنل وجود دارد و با افزایش پودرآهن از این مقدار به بعد افزایشی در راندمان حذف دیده نمی شود.

شاید دلیل آن این می باشد که در مقادیر پودر آهن بالاتر از میزان بهینه، خود پودر آهن به عنوان مصرف کننده رادیکالهای هیدروکسیل عمل کرده و در نتیجه کارایی فرایندکاهش می یابد. ضمناً دراین تحقیق زمان و سرعت اختلاط بهینه برای واکنش به ترتیب۵دقیقه و۱۸۰ rpm تعیین شد که نشان دهنده تجزیه پذیری بالای این ترکیب در دقایق اولیه واکنش است، فرخی نیز در تحقیق خود مبنی بر تجزیه پنتاکلروفنل توسط فرایند فنتون به این نتیجه رسید که ماکزیمم کارایی حذف در زمان کوتاه ۱ تا ۲ دقیقه ابتدایی انجام می گیرد (۲).

لازم به ذکر است که با وجود حذف بیش از ۹۳ درصدی ۴-کلروفنل، میزان حذف COD درحدود۶۶٪ بوده است پس همانطور که در سایر مطالعات نیز ذکر شده است، فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته یا ترکیب آلی را بطور کامل به ماده معدنی (دی اکسید کربن و آب) تبدیل می نمایند و یا اینکه ساختار ترکیب آلی را به ساختاری که حداقل مقاومت را در مقابل تجزیه بیولوژیکی داشته باشد، تبدیل می‌نمایند (۱۰).

همانطور که شکل ۶ نشان می دهد قبل از شروع فرایند، تنها کلر موجود در ترکیب ۴-کلروفنل با پیوند مستحکم خود به ترکیب متصل شده بود، لذا میزان یون کلرور در نمونه قابل اندازه گیری نبود. اما با گذشت زمان و اعمال فرایند کم کم پیوند موجود بین یون های کلر و حلقه بنزنی ترکیب ۴-کلروفنل گسسته شد و یون کلردر محلول آزاد شد، لذا میزان یون کلرور اندازه گیری

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

شده رو به افزایش گذاشت . در زمان ۵ دقیقه که به عنوان زمان بهینه فرایند در نظر گرفته شد حداکثر کارایی فرایند اکسیداسیون صورت گرفته و حداکثر پیوند های موجود شکسته شده است لذا از این زمان به بعد چون واکنش دیگری انجام نمی شود، میزان یون کلرور اندازه گیری شده نیز تغییری نمی کند. بنابراین با بررسی شکل ۶ به این نتیجه می رسیم که افزایش میزان یون کلرور اندازه گیری شده نشان دهنده شکست پیوند کل موجود در ترکیب ۴-کلروفنل است و از آنجایی که هرچه قدر میزان پیوند کلر با ترکیب اولیه کمتر شود تجزیه پذیری ترکیب را بهبود می بخشد، می توان نتیجه گرفت ترکیبات واسطه تولیدی دارای قابلیت تجزیه پذیری بیشتری هستند(۱۰).

در نهایت با توجه به شکل ۷ به این نتیجه می رسیم که میزان جذب UV_{215} با افزایش زمان اکسیداسیون کاهش می یابد و از آنجایی که میزان UV_{215} نشان دهنده ترکیبات فنلی می باشد لذا می توان نتیجه گیری کرد که میزان ترکیبات دارای حلقه آروماتیک بنزنی نمونه در طی فرایند کاهش یافته است. این امر نیز به نوبه خود نشان دهنده بهبود تجزیه پذیری ترکیبات واسطه ای تولیدی در فرایند می باشد. فرخی نیز در تجزیه پنتاکلروفنل با استفاده از فرایندفنتون به این نتیجه رسیدکه میزان جذب UV_{215} پس ازگذشت زمان ۲/۵ساعت به حداقل میزان خودرسیده و به این ترتیب مشخص شد که میزان ترکیبات واسطه با ساختارغیرحلقوی افزایش یافته است(۱۰).

بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق می توان موارد زیر را ذکر نمود.

۱-فرایندFe°/H_2O_2 قادر به اکسیداسیون کامل ۴- کلروفنل نمی باشدو فقط قادر است ۶۶٪از این ترکیب آلی را معدنی نماید.

۲-اندازه گیری میزان یون کلرور نشان داد که در طول فرایند میزان تر کیبات کلرجدا شده از ترکیب۴- کلروفنل و رها شده در محلول افزایش می یابد.

۳-کاهش میزان UV_{215} در طول فرایند نشان داد که ترکیبات حلقوی درطول فرایند شکسته شده و به ترکیبات غیر حلقوی تبدیل می شوند.

با در نظر گرفتن مطالب فوق می توان نتیجه گیری نمود که با توجه به ناقص بودن فرایند معدنی شدن ماده آلی و شکستن ماده آلی به ترکیبات غیر حلقوی ساده و قابل تجزیه بیولوژیکی می توان برای معدنی شدن و حذف کامل ۴- کلروفنل از محلولهای آبی، از یک فرایند اکسیداسیون پیشرفته به عنوان پیش تصفیه، و فرایند بیولوژیکی در ادامه استفاده نمود.

محدودیت ها

خطرات کار با اکسیدکننده قوی پراکسید هیدروژن، نحوه اختلاط صحیح پودر آهن در نمونه ها، انجام فیلتراسیون صحیح نمونه ها قبل از قرائت توسط فیلتراسیون از جمله مسائلی هستند که در حین آزمایشات ایجاد مشکلات فراوانی می کنند، لذا لازم است در رابطه با این موارد دقت و احتیاطات لازم لحاظ شود.

تشکر و قدردانی

این کار حاصل طرح پژو هشی می باشد. نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند مراتب قدردانی وسپاس خود را از مسئولین

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و کارشناسان محترم آزمایشگاه شیمی که در انجام این پژوهش نهایت همکاری را مبذول داشتند اعلام نمایند.

References

1-Radhika M, Palanivelu K. Adsorptive removal of chlorophenols aqueous solutions by low cost adsorbent-kinetics and isotherms analysis. Journal of Hazardous Material 2006; 138:116-24.

2-Farrokhi M, Naseri S, Mesdaghinia AR, et al. Oxidation of pentachlorophenol by fenton reagent. Iranian Journal public Health 2003; 32:6-10.

3-Mahajanata SP. Polloution control in process industrial.2nd ed. New Delhi: MC Grow-Hill; 1991:114-117

4-Malakotian M, Asadi M. Efficiency of fenton oxidation process in removal of phenol in aqueous solution. Journal water and wastewater 2010; 10: 46-52

5- Hollender J , Hopp J , Dott W. Degradation of 4-chlorophenol via the meta cleavage pathway by comamonas testosteroni JH5. Applied and environmental microbiology 1997; 11: 4567–72

6-Rodriguez M. Fenton and UV-Vis Based Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment, Degradation, Mineralization and Biodegradability Enhancement, [PhD thesis]. Department of Chemical Engineering, University of Barcelona. 2003

7-Juang R, Tseng R.L. Adsorption isotherm of phenolic compounds from aqueous solution onto activated carbon fibres. Journal Chemical Engineering Data 1996; 41:487-92

8- Ozbelge T A, Ozbelge H.O, Bakaya S.Z. Removal of phenolic compounds from rubber –textile wastewater by physicoshemical methods .Journal Chemical Engineering process 2001; 41:719-30

9-Yapar S, klahre P, Klumpp E. Hydrotalcite as a potential sorbent for the removal of 2,4 Dichlorophenol. Turkish Journal of Engineering and Environmental Science 2004; 28:41-8

10-Farrokhi M. Investigation of combined system efficiency (Advanced Oxidation/Activated Sludge) for biological degradation of resistant synthetic compounds .[PhD thesis] ,Tarbiat Modares university. 2004

11-Aliabadi M, Mirarefin S.M, Moghadam M. Application of Fenton Advanced Oxidation in removal of pollution from industrial effluents. Journal of Advanced Research 2004; 2:49-53

12- Matheson L J, Tratnyek P.G. Reductive dehalogenation of chlorinated methanes by iron metal. Environmental Science Technology 1994; 28 : 2045-53

13-Daneshvar N, Vatanpour V, khataee RA,et al. Decolorization of mixture of dye containing Malachite Green and Orange II by Fenton –like reagent. Journal of color science and technology 2008; 1:83-9

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

14- Hrvoje K, Natalija K, Lidija S. Azo dye degradation using Fenton type processes assisted by UV irradiation: A kinetic study. Journal of Photochemistry and Photobiology 2006; 181: 195–202

15- keenan Ch R, Sedlak D L. Factors affecting the yield of oxidations from the reaction of nanoparticulate Zero-Valent Iron and oxygen. Environmental Science Technology2008; 42: 1262-67

16-Tao Z, Yaozhong L, Jing J, et al. Oxidation of 4-chlorophenol in a heterogeneous zero valent iron/H_2O_2 Fenton-like system: Kinetic, pathway and effect factors. Separation Purification Technology 2008; 62: 551-58

17-Wen S, Kuo L, Wu N. Fenton degradation of 4-chlorophenol contaminated water promoted by solar irradiation . Solar Energy 2009; 84:59-65

18-Sedlak DL, Andren AW. Oxidation of chlorobenzene with fenton reagent. Environment Science Technology 1991; 25: 772-82

19-Xu X, Zhao W , Huang Y, et al. 2-chlorophenol oxidation kinetic by photo-assisted Fenton process. Journal of Environmental Sciences 2003; 15: 475-81

20- Zhihui A, Peng Y, Xiaohua L. Degradation of 4-Chlorophenol by a Microwave Assisted Photocatalysis Method. Hazardous Materials2005; 124: 147–52

21- Murcia MD, Gomez M, Gomez E, et al. Comparison of Different Advanced Oxidation Processes for Degrading 4-Chlorophenol. Engineering and Technology2009; 55: 249-53

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]

Investigation of Fenton-like Process Efficiency in 4-Chlorophenol Removal from Aquatic Environment

Sheikmohammadi A(MS.c)[1] Manshouri M(Ph.D) [2]Yazdanbakhsh A. R(Ph.D)[3] Sardar M(MS.c)[*4]

1.Instructor,Department of Environmental Health Engineering, Lorestan University of Medical Sciences,Khramabab,Iran.

2.Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Shaheed Beheshti University of Medical Sciences, Tehran,Iran.

3.Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Shaheed Beheshti University of Medical Sciences, Tehran,Iran.

4.Corresponding Author: MSC, Department of Environmental Health Engineering, Lorestan University of Medical Sciences, Khramabab,Iran.

Abstract

Background: 4-Chlorophenol is used frequently in industries including refineries petrochemical, industries pesticide industries and many others. This compound causes damage to environment. The purpose of this research was the survey of 4-chlorophenole degradation by Fe°/H_2O_2 of synthetic wastewater and resulting intermediate compounds.

Methods: This study is an applied- experimental research which was performed in laboratory scale. The parameters such as pH, hydrogen peroxide, contact time, iron powder and mixing velocity were investigated in the removal of 4-chlorophenole. UV_{215} and COD indexes were studied related to produced intermediate compounds .

Results: The best conditions for the removal of 4-chlorophenol were achieved in pH 4, the ratio of hydrogen peroxide to 4-chlorophenol 18.8, the ratio of hydrogen peroxide to iron powder 0.4, contact time of 5min and mixing velocity of 180rpm. For investigating mineralization of 4-chlorophenol, COD index was used It was observed that 4-chlorophenol was not mineralized absolutely. Decrease of chlorinated properties and aromatic compounds in solution, as well as improve ment of 4- chlorophenol decomposition were achieved with increasing chloral ion and UV_{215} index in 5minute.

Conclusion: Regarding the results and considering the high resistance of 4-chlorophenole in biological treatment, can be used Fe°/H_2O_2 for producing compounds with high decomposition and low toxicity

Keywords: Advanced oxidation process, Fenton-like, 4- chlorophenole, COD, Chemical degradation

[Downloaded from tbj.ssu.ac.ir on 2026-11-24]